

# EVALUACIÓN AMBIENTAL DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

O Blumetto<sup>1</sup>, D Caresani<sup>2</sup>, A Castagna<sup>2</sup>, M Bustamante<sup>3</sup>, D Echandía<sup>1</sup>, E Rodríguez<sup>1</sup>, D Castelli<sup>2</sup>, S Montaldo<sup>1</sup>, L del Pino<sup>1</sup>

## 1. INTRODUCCIÓN

La evaluación ambiental de la actividad productiva es esencial como punto de partida para procurar su sostenibilidad y eventualmente valorizar sus productos.

La evaluación ambiental puede ser amplia, ya que es muy grande el número de variables que pueden ser analizadas. En el proyecto RUMIAR se establecieron algunos indicadores ambientales que permitieran tener algunas variables medidas en cuatro dimensiones de análisis: atmósfera, suelo, agua y biodiversidad. Con estos indicadores se puede tener un primer panorama del estado de situación de la ganadería extensiva del norte del país en relación a su performance ambiental.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Localización y características de establecimientos

El trabajo se realizó en seis establecimientos de productores y en la Unidad Experimental Glencoe del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Los establecimientos están ubicados en diferentes zonas de los departamentos de Paysandú, Salto, Río Negro y Tacuarembó en el norte de Uruguay (Figura 1) sobre la región geomorfológica cuesta basáltica (Panario y Gutiérrez, 1988), alternando suelos superficiales, suelos profundos asociados a planicies y las vías de drenaje. Los establecimientos se ubicaron entre los 30°53'7.90" y 32°40'53.74" latitud sur y los 57°45'22.30" y 56°11'37.81" de longitud oeste.

Los productores de dichos establecimientos son integrantes del Consorcio Regional de Innovación de Lanás Ultrafinas del Uruguay (CRILU) o programa de mejoramiento genético de Merino. La selección de productores se realizó buscando que representaran una gama amplia de escalas espaciales y tecnologías de producción representativas de la variabilidad de los productores de la región.

El proyecto tuvo dos etapas, una fase inicial con siete casos de estudio y luego una ampliación que llegó a nueve predios adicionales. Algunos indicadores como emisiones de gases de efecto invernadero, el índice de integridad ecosistémica y los ensambles de aves fueron realizados en todos los establecimientos. Otros indicadores fueron analizados en menos casos de estudio como el stock de carbono en el suelo, fauna edáfica y calidad de agua.

### 2.2. Indicadores ambientales utilizados

#### 2.2.1. Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

Se utilizó la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) para las estimaciones de GEI del sistema predial y su cadena de suministros. La evaluación se delimitó espacialmente desde la cuna hasta la boca del animal para la fase de emisiones de insumos y desde la boca del animal hasta la portera de cada predio para la fase de emisiones de los animales. Se consideraron las emisiones provenientes de los bovinos y ovinos: CH<sub>4</sub>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay.

<sup>2</sup>Técnico Independiente, Uruguay.

<sup>3</sup>Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay.

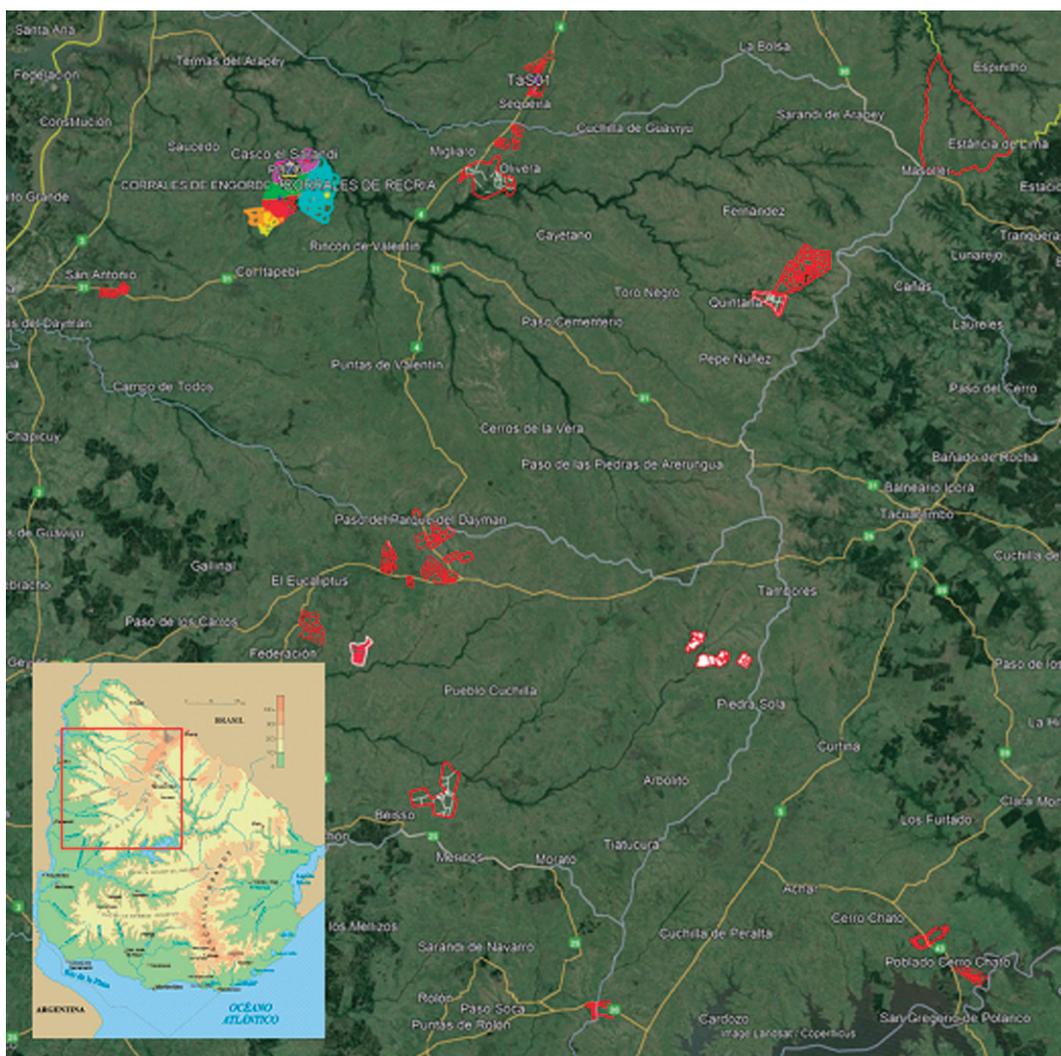


Figura 1. Mapa con distribución geográfica de los casos de estudio

entérico, el  $\text{CH}_4$  generado en el estiércol, el  $\text{N}_2\text{O}$  emitido por volatilización de las deyecciones animales, y para la fase de insumos:  $\text{CO}_2$  derivado de la fabricación y transporte de los diferentes insumos utilizados en cada predio. Las emisiones se expresaron en toneladas de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{-eq}$ ) por unidad de superficie (ha) y por kg de lana sucia. La estimación de las emisiones se realiza en función de las recomendaciones de las guías LEAP (FAO, 2016). Para expresar las emisiones de GEI es necesario asignar a cada uno de los coproductos del predio una carga ambiental, para no asignar todas las emisiones a la lana y sobreestimar las mismas. Por tanto, siguiendo las recomendaciones de las guías LEAP (2015) se

realizó una asignación en base a la masa de proteína (PMA-protein mass assignation).

### 2.2.2. Stocks de carbono en el suelo

Se realizó una clasificación de los suelos según su profundidad (superficiales, medios y profundos) en base a información del índice NDVI que proveen imágenes satelitales. Luego se muestreó el suelo hasta una profundidad máxima de 30 cm para determinar la concentración del carbono orgánico del suelo (COS) y su densidad aparente. Con la información obtenida, se estimó el stock de carbono por hectárea para cada categoría de suelo.

### 2.2.3. Índice de Integridad ecosistémica (IIE)

Se aplicó el índice de integridad ecosistémica (IIE) para cada potrero dentro de los establecimientos (Blumetto et al., 2019). El índice combina diferentes características ambientales asociadas con aspectos clave para la evaluación de la capacidad de los ecosistemas para sustentar la producción, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Su aplicación implica una evaluación de cuatro componentes: estructura de la vegetación, especies vegetales, suelo y cursos de agua (incluyendo zona riparia).

### 2.2.4. Biodiversidad silvestre asociada (aves)

Se realizó una evaluación de ensamble de aves estimando riqueza y diversidad por la metodología de Listas de MacKinnon (Gibbons y Gregory, 2006) y además de establecer la lista de especies prioritarias para la conservación (Soutullo et al., 2013) presentes en el establecimiento. El recorrido se diseñó de tal forma que quedarán contemplados todos los tipos de ambientes presentes y, por tanto, quedarán contempladas todas las especialidades de hábitat. Esto permitió tener información sobre la abundancia relativa, pero adicionalmente se registraron muchas variables de estado de los sitios, lo que permitió analizar al detalle las características del hábitat.

Las especies de aves registradas en el estudio fueron, además, clasificadas según su fuente principal de alimentación. Este agrupamiento al que llamamos gremio trófico se divide en insectívoros (insectos y otros invertebrados), granívoros (semillas), herbívoros (hojas y brotes), nectarívoros, presa (rapaces diurnas y nocturnas), pequeños animales (pequeños vertebrados, moluscos, etc.), frugívoros (frutos) y carroñeros (animales muertos o restos) y, por último, se agruparon en la categoría agua todas aquellas aves de alimentación diversa, pero que dependen de cuerpos de agua tales como arroyos, ríos o lagos.

### 2.2.5. Calidad de agua

El muestreo se realizó en arroyos y cañadas en 5 puntos de cada establecimiento. Las variables medidas fueron turbidez, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, nitratos, pH y temperatura a través del medidor multiparamétrico Hanna HI 9828. El fósforo se determinó con el colorímetro de mano Hanna HI736-gama ultrabaja de fósforo. Se elaboró un índice de calidad del agua (ICA) con los valores medios de las variables obtenidas, según la metodología Michalos (2014), de acuerdo con la fórmula:

$$ICA = \sum_{i=1}^n (C_i / P_i) (\sum_{i=1}^n P_i)^{-1}$$

donde  $n$  representa el número de variables totales;  $C_i$ , el valor asignado a la variable  $i$  previa normalización y  $P$  un valor entre 1 y 4, que se asigna a la variable más importante para la vida acuática (por ejemplo, oxígeno disuelto) (Blumetto et al., 2015). Este ICA resume la calidad general del agua en un determinado lugar y tiempo en función de varios parámetros de calidad del agua (variables medidas) realizando una normalización, es decir, llevar el valor a una escala de 0 a 100 para facilitar su integración en un solo número.

### 2.2.6. Fauna edáfica

El relevamiento de la macrofauna edáfica se realizó según la metodología propuesta por Anderson e Ingram (1993) y Lavelle et al. (2003). En cada establecimiento se seleccionaron potreros de referencia y en cada uno se tomaron cinco monolitos de suelo a través de una sonda metálica (25 × 25 cm de superficie y 30 cm de profundidad), dispuestos sobre una transecta de 100 m, distanciados a 20 m entre ellos. Los monolitos fueron trasladados a laboratorio y disgregados manualmente para coleccionar la macrofauna.

Se contó el número total de lombrices, se las clasificó en adultos o juveniles y se pesaron de manera de obtener su biomasa fresca total por monolito de suelo extraído (Anderson e Ingram, 1993, Escudero et al., 2019). El resto de los macroinvertebrados se conservó para su posterior identificación. Una submuestra de suelo fue utilizada para la extracción de mesofauna a través del mé-

todo del embudo de Berlese-Tullgren, con un período de extracción de 7 días. La macrofauna y mesofauna fueron determinadas hasta el nivel taxonómico de familia (Borrer et al., 1976, Sims, 1980, Brusca y Brusca, 2003).

las huellas de carbono fueron de 18,6, 12,7 y 59,0 kg CO<sub>2</sub> equivalente por kg carne vacuna, carne ovina y lana sucia respectivamente. Si embargo, existe una importante variabilidad entre establecimientos, en el Cuadro 1 se presentan los resultados en cada caso de estudio.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Emisión de gases de efecto invernadero

De la realización del análisis de ciclo de vida para las emisiones de gases de efecto invernadero, surge una estimación de un promedio anual de 2158 kg de CO<sub>2</sub> equivalente por hectárea. Para los distintos coproductos,

#### 3.2. Stocks de carbono en el suelo

El estudio de stock de carbono es parte del trabajo de una tesis de maestría que aún continúa en marcha y producirá un gran volumen de datos adicionales. A modo de avance se presentan aquí los valores obtenidos para 6 predios (Cuadro 2).

**Cuadro 1.** Emisiones de gases de efecto invernadero (kg CO<sub>2</sub> eq) estimados por análisis de ciclo de vida, desde la cuna a la venta del producto, para un ejercicio anual.

Predio	Emisión total (kg CO <sub>2eq</sub> predio año <sup>-1</sup> )	Emisión total (kg CO <sub>2eq</sub> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Emisiones según co-producto		
			kg CO <sub>2eq</sub> según		
			kg Carne bovina	kg Carne ovina	kg Lana sucia
<b>Caso 1</b>	12.537.241	2357	16	13,9	64,8
<b>Caso 3</b>	2.969.126	2275	15,2	10	46,7
<b>Caso 4</b>	8.612.550	1892	19,5	8,1	37,6
<b>Caso 5</b>	1.825.777	2434	11,5	9,1	42,4
<b>Caso 6</b>	999.035	2081	19,9	11,6	54,1
<b>Caso 7</b>	1.390.942	2061	13,1	12,7	59,1
<b>Caso 8</b>	3.397.602	2308	26,8	15	69,8
<b>Caso 9</b>	3.882.086	1638	13,1	12,1	56,7
<b>Caso 10</b>	4.356.005	2279	22,6	16,9	78,7
<b>Caso 11</b>	21.892.993	2263	16,2	15,3	71,4
<b>Caso 12</b>	9.742.423	1597	10,8	13,8	64,3
<b>Caso 13</b>	6.336.659	2874	25,7	11,3	52,7
<b>Caso 14</b>	5.679.409	1995	31,1	14,7	68,7
Promedio		<b>2158</b>	<b>18,6</b>	<b>12,7</b>	<b>59,0</b>

**Cuadro 2.** Stocks de carbono orgánico del suelo (COS) según categoría de suelo.

Categoría de suelos	Proporción (%) Media ± D	COS (Mg/ha)E Media ± D	Promedio COS (Mg/ha)
<b>Profundo</b>	47,2 ± 18,6	115,0±16,8	<b>C (Mg/ha)</b> <b>78,2 ± 9,7</b>
<b>Medio</b>	33,3 ± 9,5	57,6±27,3	
<b>Superficial</b>	19,5 ± 12,1	27,2±12,7	

**Cuadro 3.** Parámetros registrados para el agua analizada para los casos de estudio (media ± DE).

	OD ppm	pH	Turbidez FNU	SDT ppm	NO3	PT ppb	ICA
<b>Total casos</b>	11,5±1,2	7,8±0,4	14,8±18,8	136,0±64,9	0,5±0,1	0,0±0,0	<b>90,3±4,3</b>
<b>Caso 1</b>	11,4±1,4	7,9±0,1	55,5±69,6	82,3±24,0	0,5±0,0	0,0±0,0	<b>82</b>
<b>Caso 2</b>	12,1±0,3	8,4±0,3	1,9±1,0	109,3±42,3	0,6±0,1	0,0±0,0	<b>95</b>
<b>Caso 3</b>	9,5±1,2	7,5±0,4	5,9±6,1	110±37,7	0,6±0,0	0,0±0,0	<b>93</b>
<b>Caso 4</b>	12,6±0,2	8,0±0,3	9,3±8,7	180,8±6,4	0,6±0,1	0,1±0,1	<b>89</b>
<b>Caso 5</b>	10,2±2,8	7,7±0,8	4,1±1,3	249,3±95,1	0,5±0,0	0,0±0,1	<b>91</b>
<b>Caso 6</b>	12,8±0,6	7,1±0,4	19,4±15,1	61,3±2,1	0,5±0,0	0,0±0,0	<b>93</b>
<b>Caso 7</b>	12,0±1,3	8,0±0,3	7,6±4,6	159,3±35,9	0,5±0,0	0,1±0,1	<b>89</b>

Referencias: OD = oxígeno disuelto, SDT = sólidos disueltos totales, NO3 = nitratos, PT = fósforo total, ICA = índice de calidad de agua

### 3.3. Calidad de agua

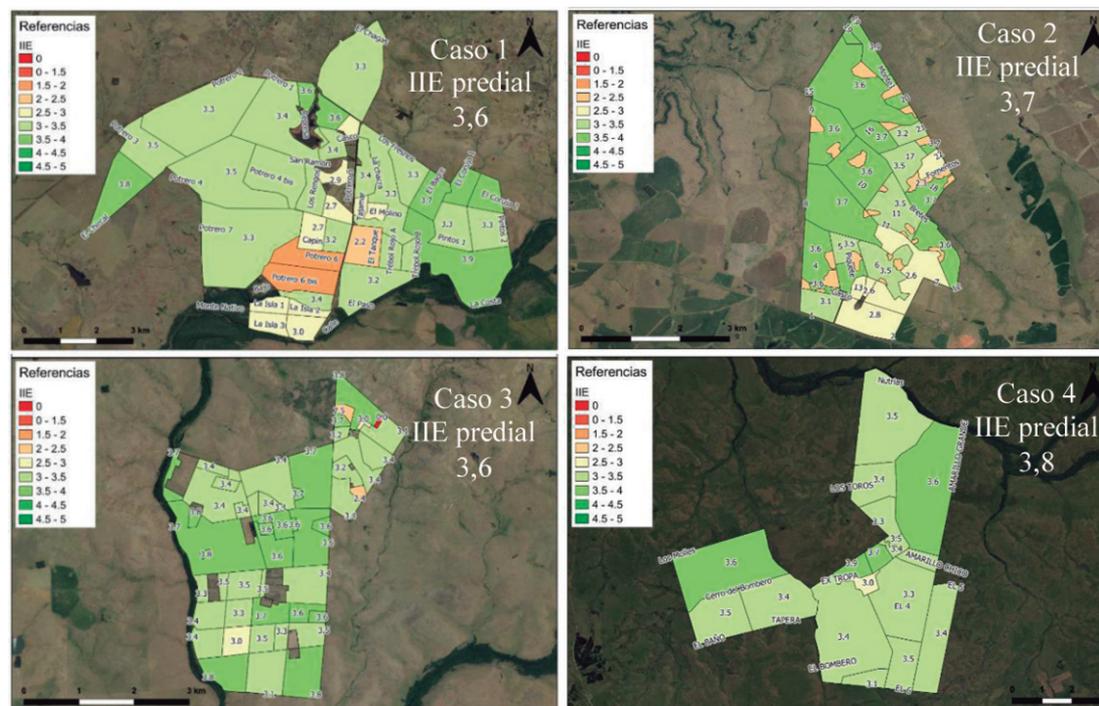
En promedio, el índice de calidad de agua para el total de casos evaluados fue 90,3, lo que se considera un valor bueno, ya que el máximo valor alcanzable es 100. El menor valor de ICA obtenido fue 82 y el mayor 95 (Cuadro 3), lo que indica que no hubo mucha variabilidad entre casos.

La calidad de agua en general muestra signos de bajo impacto de las actividades de producción, debido posiblemente a los

tipos de sistemas de producción en estudio, con baja o moderada carga animal (0,71 a 1,06 UG/ha) y baja utilización de insumos agrícolas.

### 3.4. Índice de integridad ecosistémica

Los índices de integridad ecosistémica (IIE) en los casos de estudio variaron entre 3,1 y 4,1 con una media 3,6 (Figura 2). Los valores más bajos de IIE a la interna de cada establecimiento (por potrero) corresponden a



**Figura 2.** Valores globales y por potrero del IIE para todos los casos analizados.

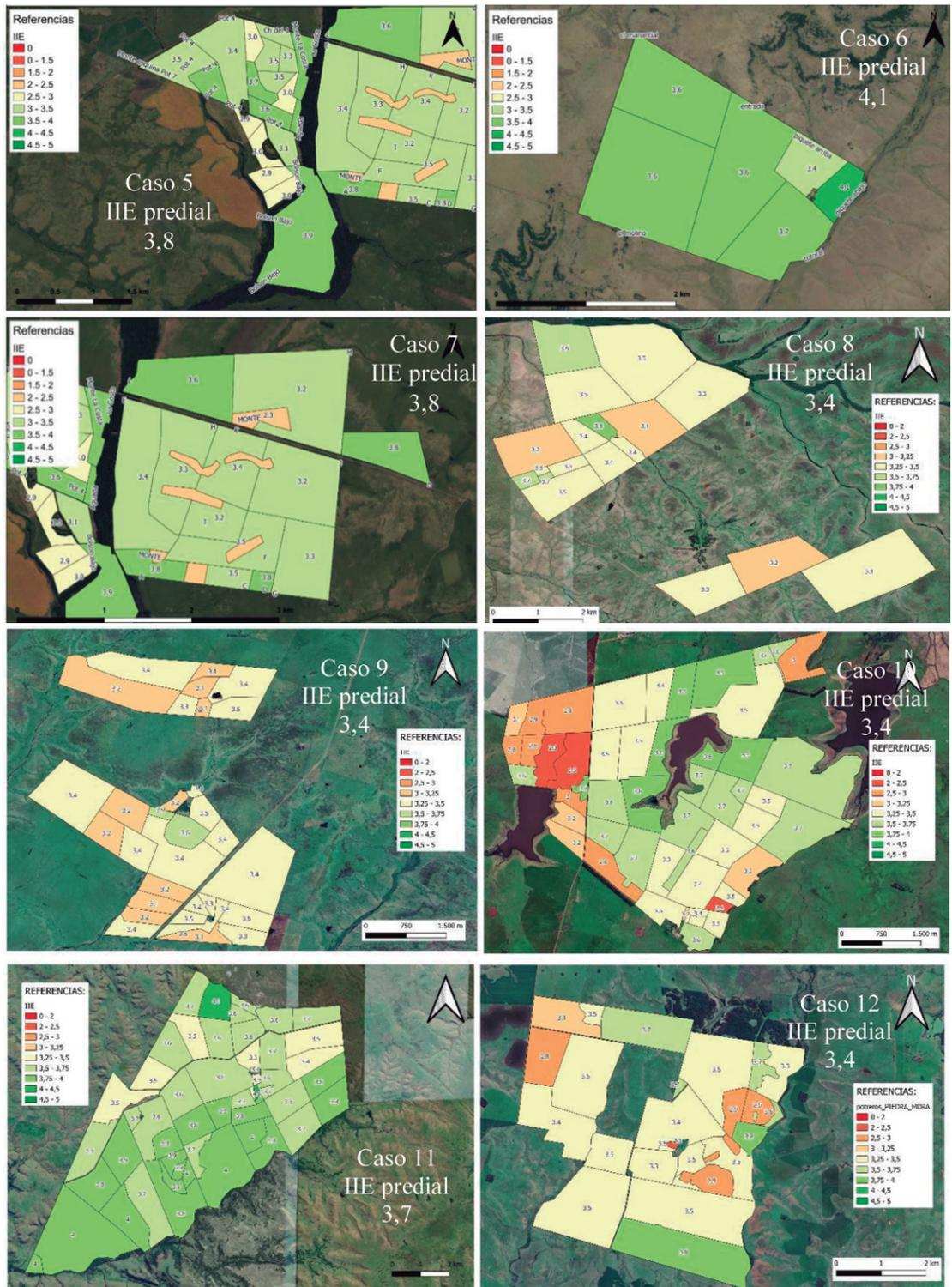


Figura 2. Valores globales y por potrero del IIE para todos los casos analizados (continuación).

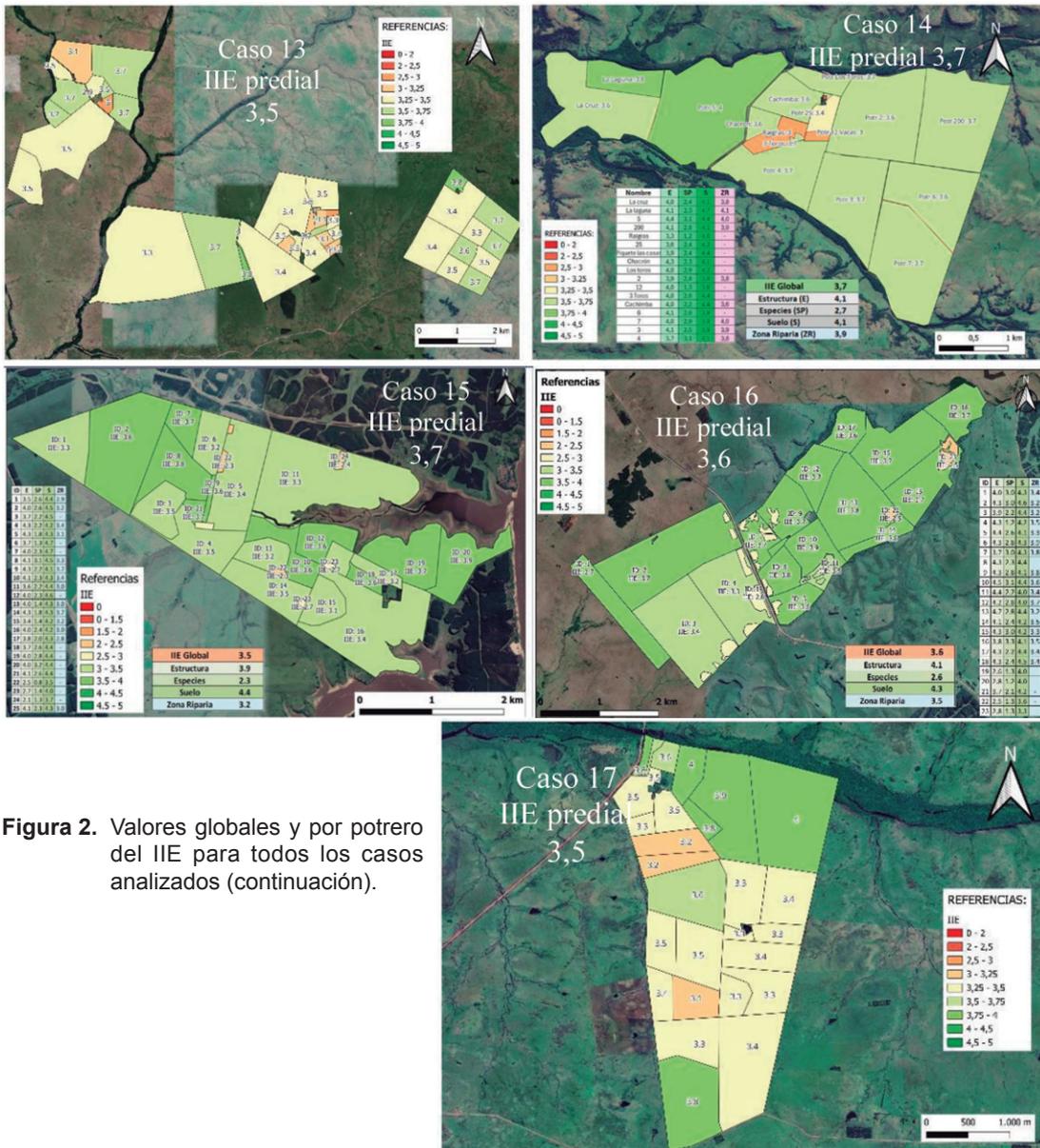


Figura 2. Valores globales y por potrero del IIE para todos los casos analizados (continuación).

sustituciones de campo natural por cultivos forrajeros (mayoritariamente en áreas de pastizales densos) o áreas forestadas; no obstante, dada la baja proporción de la superficie que representan estos manejos, los valores globales no son afectados en forma importante.

### 3.5. Ensamble de aves

Los muestreos de aves realizados sumaron 7660 registros de 223 especies. De estas el 80 % son residentes y el resto migratorias (Figura 3). Del análisis de las proporciones

de los gremios alimenticios, surge que el 55% de los registros corresponde a insectívoros y el 23% a granívoros. El resto, aunque con proporciones menores están todos representados (Figura 4). Del total de especies 23 superaron los 100 registros (Figura 5), de las cuales 20 son especies de pastizal. Veinte especies de las registradas son consideradas prioritarias para la conservación.

En el total de especies, se detectaron 31 especies prioritarias para la conservación, de las cuales 24 son aves de pastizal. En el Cuadro 4 se presenta la lista de especies.

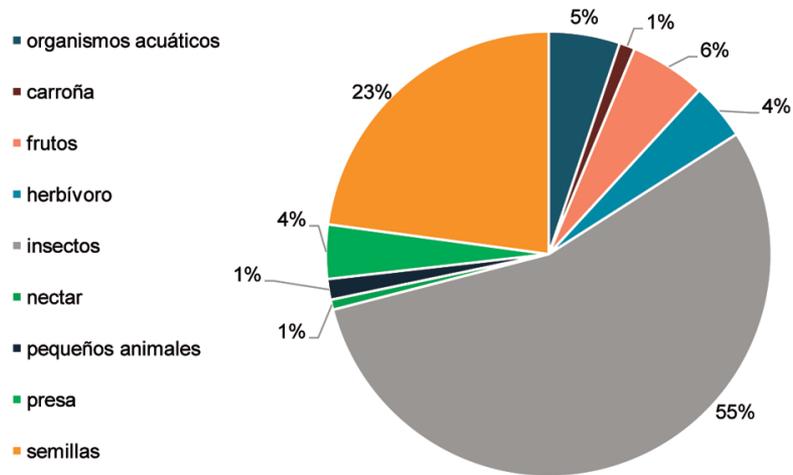


Figura 3. Proporción de aves registradas según gremio alimenticio.

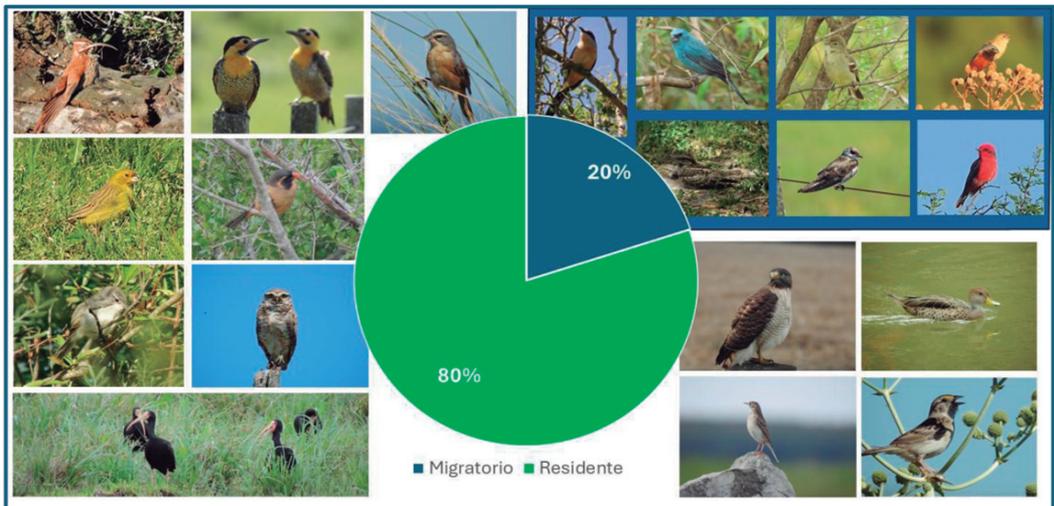


Figura 4. Proporción de aves migratorias o residentes.

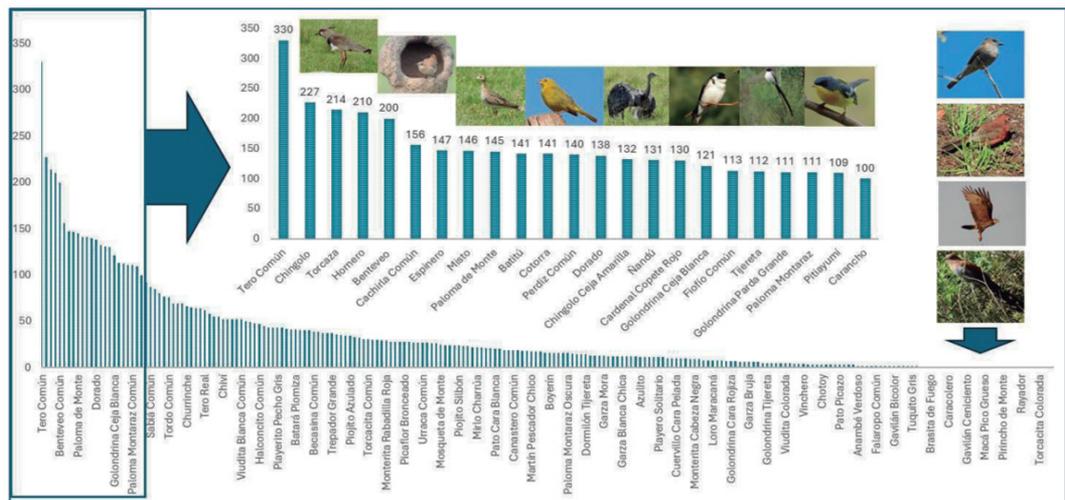


Figura 5. Número de registros por especie y detalle de las especies con 100 registros o más.

**Cuadro 4.** Especies prioritarias para la conservación (Soutullo et al., 2013) registradas en el total de establecimientos relevados.

Nombre científico	Nombre común	Alimentación	Residencia
<i>Anthus nattereri</i>	Cachisla dorada	Insectos	Reside
<i>Aramus guarauna</i>	Carao	Org. acuáticos	Reside
<i>Bartramia longicauda</i>	Batitú	Insectos	Migrador verano
<i>Calidris fuscicollis</i>	Playerito rabadillablanca	Insectos	Migrador verano
<i>Calidris subruficollis</i>	Playero canela	Insectos	Migrador verano
<i>Cariama cristata</i>	Seriema	Pequeños animales	Reside
<i>Circus cinereus</i>	Gavilán ceniciento	Presa	Reside
<i>Cistothorus platensis</i>	Ratonera aperdizada	insectos	Reside
<i>Coragyps atratus</i>	Cuervo cabeza negra	Carroña	Reside
<i>Coscoroba coscoroba</i>	Coscoroba	Plantas acuáticas	Reside
<i>Cygnus melacoryphus</i>	Cisne de cuello negro	Plantas acuáticas	Migrador verano
<i>Donacospiza albifrons</i>	Monterita cabeza gris	Semillas	Reside
<i>Elaenia sordida</i>	Fiofío oscuro	Insectos	Migrador verano
<i>Emberizoides ypiranganus</i>	Coludo chico	Semillas	Reside
<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Aguila mora	Presa	Reside
<i>Gnorinopsar chopi</i>	Mirlo charrúa	Insectos	Reside
<i>Lochmias nematura</i>	Macuquiño	Insectos	Reside
<i>Neoxolmis rufiventris</i>	Viudita chocolate	Insectos	Migrador invierno
<i>Nothura maculosa</i>	Perdiz común	Semillas	Reside
<i>Oreopholus ruficollis</i>	Chorlo cabezón	Insectos	Migrador invierno
<i>Paroaria coronata</i>	Cardenal Copete rojo	Semillas	Reside
<i>Pluvialis dominica</i>	Chorlo dorado	Insectos	Migrador verano
<i>Polystictus pectoralis</i>	Tachurí canela	insectos	Migrador verano
<i>Rhea americana</i>	Ñandú	Herbívoro	Reside
<i>Rynchothus rufescens</i>	Martineta	Semillas	Reside
<i>Sporophila cinnamomea</i>	Capuchino de boina gris	Semillas	Migrador verano
<i>Sporophila collaris</i>	Dominó	Semillas	Migrador verano
<i>Sporophila hypochroma</i>	Capuchino castaño	Semillas	Migrador verano
<i>Sporophila ruficollis</i>	Capuchino garganta café	Semillas	Migrador verano
<i>Tryngites subruficollis</i>	Playerito canela	Insectos	Migrador verano
<i>Volatinia jacarina</i>	Volatinero	Semillas	Migrador verano

### 3.6. Fauna edáfica

Se recolectaron un total de 1803 individuos de la macro- y mesofauna, siendo los organismos incluidos artrópodos, gasterópodos, anélidos y crustáceos (isópodos). En los muestreos de los cinco sitios analizados para ambos usos del suelo, correspondientes a 25 grupos taxonómicos con una predomi-

nancia en los órdenes Annelida (30,4 %), Collembola (17,8 %) y Acari Oribatida (14,4 %) caracterizados en cuatro grupos funcionales (depredadores, fitófagos, detritívoros e ingenieros de suelo).

Los índices de diversidad, abundancia y riqueza no presentaron diferencias significativas entre los diferentes usos del suelo (campo natural y raigrás) para la totalidad

**Cuadro 5.** Índice de diversidad para los distintos gremios tróficos según uso de suelo (media  $\pm$  DE).

Grupo funcional	Depredadores		Detritívoros		
	Uso	Rg	CN	Rg	CN
Riqueza		2,1 $\pm$ 0,6	2,1 $\pm$ 1,2	3,6 $\pm$ 1,1	3,2 $\pm$ 1,3
Abundancia		5,0 $\pm$ 3,9	4,0 $\pm$ 3,2	33,7 $\pm$ 26,8	31,3 $\pm$ 42,2
Dominancia-D		0,62 $\pm$ 0,1	0,7 $\pm$ 0,3	0,48 $\pm$ 0,2	0,45 $\pm$ 0,1
Shannon-H		0,59 $\pm$ 0,2	0,5 $\pm$ 0,3	0,91 $\pm$ 0,5	0,94 $\pm$ 0,4
Margalef		0,72 $\pm$ 0,2	0,69 $\pm$ 0,5	0,79 $\pm$ 0,4	0,82 $\pm$ 0,5
Equitabilidad-J		0,87 $\pm$ 0,1	0,85 $\pm$ 0,1	0,76 $\pm$ 0,2	0,86 $\pm$ 0,2

Grupo funcional	Fitófagos		Ing. del suelo		
	Uso	Rg	CN	Rg	CN
Riqueza		3,7 $\pm$ 2,0	4,0 $\pm$ 0,5	1,7 $\pm$ 0,8	2,0 $\pm$ 0,5
Abundancia		15,9 $\pm$ 18,4	17,9 $\pm$ 22,7	45,6 $\pm$ 54,1	42,44 $\pm$ 81,0
Dominancia-D		0,58 $\pm$ 0,2	0,51 $\pm$ 0,2	0,88 $\pm$ 0,1 B	0,67 $\pm$ 0,2 A
Shannon-H		0,83 $\pm$ 0,1	0,94 $\pm$ 0,4	0,21 $\pm$ 0,2 A	0,51 $\pm$ 0,3 B
Margalef		1,06 $\pm$ 0,1	1,21 $\pm$ 0,8	0,24 $\pm$ 0,2 A	0,42 $\pm$ 0,2 B
Equitabilidad-J		0,72 $\pm$ 0,1	0,71 $\pm$ 0,2	0,43 $\pm$ 0,2	0,75 $\pm$ 0,3

Letras diferentes en la fila dentro de cada grupo funcional significan que hay diferencias significativas  $p < 0,05$

de la muestra. Sin embargo al analizar los grupos funcionales, para los ingenieros de suelo, se observa más diversidad y menos dominancia en campo natural en relación al raigrás (Cuadro 5).

#### 4. VALORIZACIÓN AMBIENTAL DE SISTEMAS PRODUCTIVOS: PILOTO DE GANADERÍA REGENERATIVA

El componente ambiental del Proyecto RUMIAR preveía un objetivo de exploración de alternativas para la valorización de productos a través del estatus ambiental de los sistemas productivos. Originalmente, se trataba de investigar alternativas en esquemas de certificación a nivel internacional, especialmente aquellas orientados a biodiversidad. A mediados de 2021 una empresa de la industria lanera nacional recibió demandas de empresas internacionales de la industria de la moda. Estas empresas solicitaban productos provenientes de sistemas regenerativos. Ante esta demanda la empresa contactó al equipo de INIA para solicitar apoyo en la

implementación de ganadería regenerativa en Uruguay. Paralelamente contratan a la consultora internacional Quantis, especialistas en certificaciones ambientales a escala global.

Se estableció un proyecto piloto involucrando dos establecimientos, uno ubicado sobre suelos de basalto y otro sobre areniscas. En estos predios se realizó una línea de base ambiental acordada con Quantis, que implicó un análisis de ciclo de vida para la huella de carbono, la determinación de stock de carbono en el suelo, el índice de integridad ecosistémica y el estudio de los ensambles de aves. La propuesta de línea de base ambiental implica la utilización de indicadores cuantitativos, capaces de reportar varios aspectos ambientales de los sistemas y ser sensibles a posibles cambios en el manejo. Estas características despertaron el interés de Textile Exchange (organización internacional que trabaja con la industria de las fibras) que nos invitó a presentar la iniciativa en su Conferencia Mundial 2022 en Colorado Springs (EEUU). El plan piloto tuvo una am-



**Figura 6.** Ejemplo de titulares de prensa de la primera exportación.

pliación hasta alcanzar 15 predios y permitieron que Uruguay exportara por primera vez lana regenerativa directamente a empresas de primer orden mundial en la venta de textiles de alto valor (Figura 6).

## 5. DISCUSIÓN

En lo que respecta a las emisiones GEI estimadas, los valores están dentro de lo esperado para ganadería extensiva sobre campo natural, donde la fase de cadena de suministro influye muy poco (5% en promedio) mientras que la fase animal es la que presenta la mayor contribución (95% en promedio), principalmente por la emisión de  $\text{CH}_4$ . Sin embargo, lo más interesante es que existe variabilidad de la huella de carbono de cada producto (carne vacuna, carne ovina y lana) entre los establecimientos. Esto como resultado de que existen diferencias en las estructuras y procesos productivos de los establecimientos; por lo que podría existir oportunidades de rediseño de esos sistemas, para procurar mitigar emisiones.

Algunas alternativas para la mitigación ya están disponibles en ovinos de la raza Merino, ya que existe información de diferencias esperadas en la progenie (DEP) para emisiones de

metano y eficiencia del uso del alimento, que está relacionada con reducción de emisiones. En tal sentido es posible seleccionar carneros que contribuyan a reducir emisiones.

Desde el punto de vista del stock de carbono en el suelo, existen pocas referencias para poder interpretar el nivel del mismo, pero las cantidades encontradas parecen muy altas en relación a las reportadas en muchas partes del mundo. Según Dondini et al. (2023) a nivel mundial, en el año 2010, la reserva de COS en pastizales no mejorados fue 53 toneladas C/ha y 50 toneladas C/ha en pastizales mejorados, lo cual es bastante menos que los más de 100 Mg de carbono por hectárea que alcanzaron los suelos que llegan a los 30 de profundidad. También en este caso, la variabilidad interna entre los sitios de muestreo es el dato más interesante, ya que muestra que sitios con condiciones similares pueden acumular 30% más de carbono que la media. Esto implicaría que las condiciones ecológicas que se dieron en esos sitios permitieron acumular carbono. Esto evidencia posibilidades de incorporar más carbono en sitios con valores más bajos, a través del manejo de los pastizales. No obstante, aún no sabemos cuánto carbono es posible acumular en los sitios que ya tienen los valores más altos.

Los valores del índice de calidad de agua estuvieron en todos los casos por encima de 80 % con una media de 90%. Esto indica que estos sistemas tienen en términos generales una buena calidad de agua. No obstante, existen algunas cuestiones que deben tomarse en cuenta para no reducir dicha calidad. Los valores más bajos fueron obtenidos en cursos de agua que atravesaban zonas de cultivos o pasturas, lo cual podría ser una preocupación si se continúa incrementando la intensidad de uso del suelo. También resulta en una posible causa de impacto el acceso directo del ganado a los cursos de agua. En momentos de déficit hídrico, se han detectado pérdidas de calidad de agua muy importante vinculados al aumento de la temperatura y el acceso de animales que aumentan la suspensión de partículas (de Santiago et al., 2021).

En lo referente al índice de integridad ecosistémica, los valores obtenidos variaron entre 3,1 y 4,1, los que son considerados buenos según los antecedentes disponibles (Blumetto et al., 2017, Aguerre y Albicette, 2018, Ruggia et al., 2021). La variabilidad existente entre predios manifiesta que hay diferencias en el impacto que han tenido los manejos históricos en la integridad ecosistémica. Si bien hay una alta correlación de valores más bajos del IIE y usos del suelo que sustituyeron el campo natural (cultivos, pasturas, forestación), también hay grandes diferencias entre potreros de campo natural. Esto indicaría que también ha habido diferencias en el manejo de este recurso.

En lo referente a las comunidades de aves evaluadas, se destaca la gran riqueza y diversidad que poseen estos sistemas productivos, con una amplia dominancia de aves especialistas de pastizal. También para esta variable existe una importante variabilidad en la riqueza encontrada en cada predio, la cual está asociada a la diversidad de hábitats existentes en cada predio. El análisis de los gremios de alimentación muestra que todos ellos están representados, lo cual es una buena señal de equilibrio poblacional, pero dominan claramente los insectívoros. Esto no solo muestra la importancia de esta fuente de alimento para las cadenas tróficas, sino también el rol de las aves en el control

biológico de las poblaciones de insectos. Se registraron varias especies consideradas prioritarias para la conservación, la mayoría de las cuales son especies especialistas de pastizal. Hoy sabemos que el manejo del pastoreo puede afectar las comunidades de aves que usan esos ambientes (Blumetto, 2022; Aldabe et al., 2023; Aldabe et al., 2024), esto implica que se pueden realizar manejos específicos para favorecerlas.

Por último, la información obtenida del análisis de fauna edáfica muestra una diversidad importante, la cual es necesaria para asegurar los ciclos de los nutrientes ya que juegan un rol importante en la degradación de la materia orgánica de los restos vegetales y de las propiedades físicas del suelo como la porosidad. En este sentido el dato destacable es que a pesar de tratarse de verdes muy nuevos (primer año) los raigrases analizados presentaron una reducción en la riqueza y diversidad de los ingenieros de suelo.

Los cambios en la actividad de los ingenieros del suelo pueden afectar considerablemente otros componentes de la comunidad subterránea; esto, a su vez, puede retroalimentar los procesos de descomposición, como lo sugiere la relación positiva entre la actividad de alimentación en el suelo y la abundancia de fauna endógena del suelo (Birkhofer et al., 2011). Si bien el cambio es proporcionalmente menor, es una característica que debería monitorearse en el mediano plazo porque podría estar cambiando los equilibrios necesarios en la fauna edáfica para mantener los ciclos de los nutrientes y el carbono.

El estado ambiental general de los establecimientos puede considerarse bueno y aunque hay oportunidades de mejora en todos los casos, los resultados permiten inferir buenas posibilidades de valorizar los productos provenientes de estos sistemas por su desempeño ambiental.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

**Aguerre, V., Albicette, M. (2018).** Co-innovando para el desarrollo sostenible de sistemas ganaderos familiares de Rocha (Uruguay). Serie Técnica INIA 243.

- Aldabe, J., Morán López, T., Soca, P., Blumetto, O., Morales, J. M. (2023).** Bird species responses to rangeland management in relation to their traits: Rio de la Plata Grasslands as a case study. *Ecological Applications*, e2933.
- Aldabe, J., Sánchez-Iriarte, A.I., Rivas, M., Blumetto, O. (2024).** Managing Grass Height for Birds and Livestock: Insights from the Río de la Plata Grasslands. *Rangeland Ecology & Management*, 92, 113-121.
- Anderson, J.M., Ingram, J.S.I. (1993).** *Biología del suelo Tropical y la fertilidad: Un manual de métodos*. 2ª ed. Wallingford: CAB International. 221p.
- Birkhofer, K., Diekötter, T., Boch, S., Fischer, M., Müller, J., Socher, S., Wolters, V. (2011).** La actividad de alimentación de la fauna del suelo en suelos de pastizales templados aumenta con la riqueza de especies de leguminosas y gramíneas. *Biología y bioquímica del suelo*, 43 (10), 2200-2207.
- Blumetto, O., Castagna, A., Cardozo, G., García, F., Tiscornia, G., Ruggia A., Scarlato, S., Albicette, M.M., Aguerre, V., Albin, A. (2019).** Ecosystem Integrity Index, an innovative environmental evaluation tool for agricultural production systems. *Ecological Indicators* 101, 725-733.
- Blumetto O., Castagna, A., Del Pino, L. (2017).** Stock de carbono subterráneo en campo natural de la cuesta basáltica, aportes metodológicos para abordar la complejidad natural. Acceso web: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7127/1/Castagna-A.-2017.-Grupo-Campos-a21poster.pdf>
- Blumetto, O., Scarlato S., Tiscornia, G., Castagna, A., García, F., Cardozo, G., Ruggia, A. (2015).** Re-designed farming system as a key for biodiversity conservation in Uruguay, 259-260 5th International Symposium for Farming Systems Design 7-10 September 2015, Montpellier, France
- Blumetto, O. (2022).** Los agroecosistemas ganaderos importante hábitat para las aves: análisis cualitativo del efecto del manejo productivo en especies prioritarias para la conservación en Uruguay. *Recursos Rurais*, (18), 5-15.
- Borror, D. Long, D.D., Triplehorn, C.A. (1976).** *An introduction to the study of insects*. 4th edition. Holt, Rinehart and Winston. New York, USA. 852.
- Brusca, R., Brusca, G. (2003).** *Invertebrates*. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts, USA. Segunda edición. 966.
- de Santiago, M.F., Barrios, M., D'Anatro, A., García, L.F., Mailhos, A., Pompozzi, G., Rehmann, S., Simó, M., Tesitore, G., Teixeira de Mello, F., Valtierra, V., Blumetto, O. (2022).** From theory to practice: Can LEAP/FAO biodiversity assessment guidelines be a useful tool for knowing the environmental status of livestock systems? *Sustainability*, 14(23), 16259.
- Dondini, M., Martin, M., De Camillis, C., Uwiyeze, A., Soussana, J.-F., Robinson, T., Steinfeld, H. (2023).** Global assessment of soil carbon in grasslands – From current stock estimates to sequestration potential. *FAO Animal Production and Health Paper No. 187*. Rome, FAO.
- FAO. (2016).** Environmental performance of large ruminant supply chains: Guidelines for assessment. version 1, FAO ROMA, 232.
- Gibbons, D.W., Gregory, R.D. (2006).** *Birds*, in: Sutherland, W.J. (Ed.), *Ecological census techniques*, 2nd Edition. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 308-350.
- Escudero, J., Lagerlöf, G., Martínez Debat, C., Pérez, C.A. (2019).** Identificación de especies de lombrices de tierra en Uruguay sobre la base de métodos morfológicos y moleculares. *Agrociencia Uruguay*, 23(1), 37-46.
- Lavelle, P., Senapati, B., Barros, E. (2003).** Soil macrofauna. In: *Trees, crops and soil fertility. Concepts and research methods*. (Eds. G. Schroth & F. L. Sinclair). CABF Publishing, UK. p. 303
- Michalos, A. C. (Ed.). (2014).** *Encyclopedia of quality of life and well-being research* (Vol. 171). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Panario, D., Gutiérrez, M. (1988).** *Geomorfología: propuesta de un marco estructural y un esquema de evolución del modelado del relieve uruguayo*. Universidad de la República, Facultad de Humanidades y Ciencias, Departamento de Geografía.
- Ruggia, A., Dogliotti, S., Aguerre, V., Albicette, M. M., Albin, A., Blumetto, O., ... Rossing, W.A.H. (2021).** The application of ecologically intensive principles to the systemic redesign of livestock farms on native grasslands: A case of co-innovation in Rocha, Uruguay. *Agricultural Systems*, 191, 103148.

**Sims, R.W. (1980).** A classification and the distribution of earthworms suborder Lumbricina (Haplotaxida: Oligochaeta). *Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology*, 39(2), 103.

**Soutullo, A, Clavijo, C., Martínez-Lanfranco, J.A. (eds.). (2013).** Especies prioritarias para la conservación en Uruguay. Vertebrados, moluscos continentales y plantas vasculares. SNAP/DINAMA/MVOTMA y DICYT/ MEC, Montevideo. 222 pp.